

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Sledování teplot při soustružení inteligentními nástroji
Monitoring of Temperatures in Turning with Intelligent Tools

Student:
Vedoucí bakalářské práce:

Ondřej Vícha
Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání bakalářské práce

Student: **Ondřej Vícha**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2303R002 Strojírenská technologie**
Specializace: **70 Strojírenská technologie**
Téma: **Sledování teplot při soustružení inteligentními nástroji**
Monitoring of Temperatures in Turning with Intelligent Tools

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Teoretický rozbor experimentu.
3. Zpracování naměřených hodnot.
4. Vyhodnocení experimentu.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] KOCMAN, K.; PROKOP, J. *Technologie obrábění*. Brno : Akademické nakladatelství CERM s.r.o. Brno. 2001, 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
[2] VASILKO, K.; NOVÁK-MARCINČIN, J.; HAVRILA, M. *Výrobné inženýrstvo*. Prešov : Datapress Prešov. 2003, 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
[3] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. s. 343. ISBN 978-80-8070-711-8.
[4] HUMÁR, A. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. Brno : CCB, s.r.o. Brno, 1995. 265 s. ISBN 80-85825-10-4.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 22.5. 2011

.....
Něha

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 22.5. 2011

.....


podpis

Jméno a příjmení autora práce: Ondřej Vícha

Adresa trvalého pobytu autora práce: Na Vrchovině 8, Opava – Komárov, 747 70

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VÍCHA, Ondřej. *Sledování teplot při soustružení inteligentními nástroji*. Ostrava, 2011. 50s. Bakalářská práce. VŠB - Technická Univerzita Ostrava.

Vedoucí práce: Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

Tato bakalářská práce se zabývá měřením teplot při soustružení s inteligentním nástrojem. Inteligentní nástroj je vyměnitelná břitová destička z řezné keramiky, na které je nanesena odporová vrstva.

Teoretická část bakalářské práce se zabývá způsoby měření teplot při obrábění a rozboru keramických nástrojových materiálů.

Hlavní část se zabývá rozбором experimentu (stroj, nástroj, měřidlo...) a vyhodnocením naměřených dat, které jsme získali při soustružení.

ANNOTATION OF THESIS

VÍCHA, Ondřej. *Monitoring of Temperatures in Turning with Intelligent Tools*. Ostrava, 2011. 50s. Bachelor thesis. VŠB - Technical University of Ostrava.

Supervisor: Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

This bachelor thesis deals Measurement of temperatures in turning with intelligent tools. The Intelligent tool is cutting inserts of cutting ceramics, on which is applied the resistive layer.

Theoretical part deals with methods of temperature measurement during processing and analysis of ceramic tool material.

The main part deals with the analysis of the experiment (machine, tool, gauge, ...) and evaluation of measurement data, we have gained in turning.

Obsah

1. Úvod.....	- 9 -
2. Teplo a teplota řezání.....	- 10 -
2.1. Tepelné jevy při obrábění a Tepelná bilance	- 10 -
2.2. Teplota řezání a její měření	- 11 -
2.3 Měření termočlánky	- 12 -
2.3.1. Umělý termočlánek.....	- 12 -
2.3.2. Poloumělý termočlánek	- 14 -
2.3.3. Přirozený termočlánek	- 14 -
2.3.4. Termoduo.....	- 15 -
2.3.5. Cejchování termočlánku	- 16 -
2.3.6. Pyrometry	- 18 -
2.3.7. Emisivita.....	- 19 -
2.4. Měření pomoci termovize	- 20 -
2.5. Měření pomoci teplotních indikátorů	- 20 -
3. Řezná keramika.....	- 21 -
3.1. Výroba řezné keramiky	- 23 -
3.2. Rozdělení řezné keramiky	- 23 -
3.2.1. Čistá keramika	- 23 -
3.2.2. Polosměsná keramika	- 23 -
3.2.3. Směsná keramika	- 24 -
3.2.4. Keramika vyztužená viskerem.....	- 24 -
3.2.5. Nitridická keramika	- 24 -
4. Vlastní experiment	- 25 -
4.1. Stroj	- 25 -
4.2. Měřicí zařízení pro měření teploty a zaznamenávání naměřených hodnot.....	- 26 -

4.2.1. Pyrometr AMIR 7838 – 21	- 26 -
4.2.2. Zařízení pro záznam naměřených hodnot.....	- 28 -
4.2.3. kalibrace pyrometru AMIR 7838-21	- 29 -
4.3. Řezný nástroj.....	- 31 -
4.3.1. Vyměnitelná břitová destička od firmy Kyocera.....	- 31 -
4.3.2. Nožový držák CERADEx XCSRNR2525M-1207SEN	- 32 -
4.4. Použité materiály obrobku	- 33 -
4.4.1. Materiál A - 12 020 (1.1148, C16E).....	- 34 -
4.4.2. Materiál B - 14 220 (1.7131, 16MnCr5)	- 34 -
4.4.3. Materiál C - 15 142 (1.7223, 41CrMo4)	- 35 -
4.5. Postup experimentu	- 36 -
4.5.1. Řezné podmínky při experimentu.....	- 38 -
4.5.2. Měření teploty.....	- 41 -
4.6. Vyhodnocení měření teploty	- 42 -
4.6.1. Řezná hrana č. 2 VBD	- 43 -
4.6.2. Řezná hrana č. 3 VBD	- 44 -
4.6.3. Řezná hrana č. 4 VBD	- 46 -
5. Závěr	- 48 -

Seznam použitých značek:

a_p	hloubka řezu	[mm]
C	uhlík	[-]
Cr	chrom	[-]
Cu	měď	[-]
ČSN	československá norma	[-]
ε	emisivita	[-]
E_E	práce řezného procesu	[J]
f	posuv	[mm]
HB	tvrdost podle Brinela	[-]
Mn	mangan	[-]
Mo	molybden	[-]
MS	měřicí spoj	[-]
mV	milivoltmetr	[-]
n	otáčky	[min ⁻¹]
Ni	nikl	[-]
P	fosfor	[-]
Q_e	teplo řezného procesu	[J]
Q_n	teplo odvedené nástrojem	[J]
Q_o	teplo odvedené obrobkem	[J]
Q_{pd}	teplo vzniklé v primární oblasti plast. deformace	[J]
Q_{pr}	teplo odvedené prostředím	[J]
Q_t	teplo odvedené třískou	[J]
$Q_{tč}$	teplo vzniklé v sekundární oblasti plast. deformace	[J]
Q_{th}	teplo vzniklé v terciální oblasti plast. deformace	[J]
Re	mez kluzu	[MPa]
Rm	mez pevnosti	[MPa]
S	síra	[-]
Si	křemík	[-]
SS	srovnávací spoj	[-]
VBD	vyměnitelná břitová destička	[-]
v_c	řezná rychlost	[m.min ⁻¹]
α_n	úhel hřbetu	[°]
θ_m	teplota měření	[°C]
θ_o	teplota okolí	[°C]

1. Úvod

V dnešní době je při velkosériové výrobě často využíváno bezobslužných systémů výroby. Používají se hlavně kvůli snížení výrobních nákladů, kterých nedosáhneme jenom snížením počtu zaměstnanců, ale musíme se zaměřit i na výrobní proces. Jako hlavní je maximální využití vyměnitelné břitové destičky při dosažení požadované drsnosti i rozměrové a geometrické přesnosti výrobku. Aby bylo dosaženo všech požadovaných vlastností obrobku musí být stanovena trvanlivost vyměnitelné břitové destičky. Po kterou může být destička v záběru. Ta se počítá pomocí Taylorova vztahu. Při obrábění často dochází k tomu, že se v obráběném materiálu nacházejí tvrdá zrnka, která můžou řeznou hranu rychleji otupit nebo jinak poškodit. Proto se tato skutečnost bere v potaz a musí se snížit trvanlivost VBD o určitou hodnotu, aby nedošlo k zhoršení kvality obrobku. Tímto dochází v mnoha případech k předčasné výměně řezné hrany, i když ještě nedosáhla maximálního dovoleného opotřebení a také ke zvýšení nákladů na výrobu. V dnešní době existuje mnoho způsobů diagnostiky řezné hrany, ale žádná tato metoda nedokáže zkontrolovat řeznou hranu v době řezu. A z důvodu jejich složitosti a finanční náročnosti nejsou moc v praxi využívány. Přerušením řezu a následnou kontrolou dochází ke snížení produktivity výroby, což vede opět ke zvýšení nákladů. Toto se dá vyřešit diagnostikou pomocí odporové vrstvy, která je nanесena na povrchu vyměnitelné břitové destičky. Tato metoda je velmi jednoduchá a snadno použitelná v praxi. Umožňuje nám kontrolovat řeznou hranu přímo v řezu a okamžitě zjistíme, kdy došlo k maximálnímu dovolenému opotřebení VBD a je nutná její výměna. Její potenciál do budoucna je velmi velký a očekává se její masové rozšíření u bezobslužných systémů.

V naší práci se budeme zabývat zkoumáním diagnostiky řezné hrany pomocí odporové vrstvy. Z důvodu velké obsáhlosti tématu byla tato práce rozdělena na tři části. A to na bakalářskou práci zaměřenou na měření teploty, měření opotřebení a měření odporu při soustružení s inteligentním nástrojem (VBD s nanесenou odporovou vrstvou). V mé bakalářské práci se budu zabývat pouze měřením teploty při obrábění inteligentním nástrojem.

2. Teplo a teplota řezání

Teplota řezání je jedním z nejdůležitějších parametrů ovlivňujících proces řezání a má vliv na všechny parametry řezání. Závisí na ní možnosti a vhodnost použití různých rezných rychlostí, posuvu, hloubky řezu a také ovlivňuje trvanlivost nástroje. Z výše uvedených skutečností vyplývá, že teplota nepřímo, ale zásadně ovlivňuje produktivitu a ekonomičnost výroby. [1]

Teplota patří mezi jednu z nejdůležitějších stavových veličin, které ovlivňují téměř všechny stavy a procesy a je mírou kinetické energie pohybujících se částic látky (molekul, atomů, ...).

2.1. Tepelné jevy při obrábění a Tepelná bilance

Tepelné jevy při obrábění

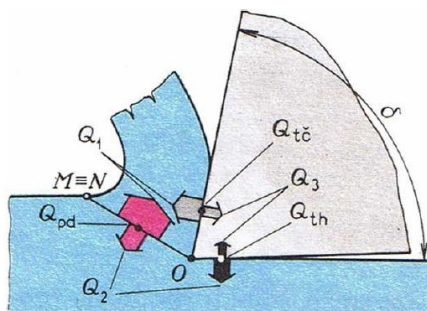
Vznik třísky při obrábění a její odvod z místa řezu je doprovázen vznikem určitého množství tepla. Ke vzniku tepla dochází transformací vynaložené práce. V teplo se přeměňuje téměř veškerá práce vynaložená na proces řezání. [4]

Tepelná bilance

Teplo řezného procesu Q_e vzniklé při odebrání určitého množství materiálu je přibližně rovné práci řezného procesu E_e .

$$Q_e \cong E_e \quad (2.1)$$

Hlavní zdroje tepla jsou v oblastech plastických deformací při tvoření třísky, v oblasti tření třísky po čele nástroje a v oblasti tření hřbetu po obrobené ploše. Viz. (Obr. 2.1.)



Obr. 2.1 Zdroje tepla [14]

Q_{pd} – vzniká přeměnou práce plastických deformací, v oblasti OMN ,

$Q_{tč}$ – vzniká přeměnou práce tření, na styčné ploše čela,

Q_{th} – vzniká přeměnou práce tření, na styčné ploše hřbetu,

$$Q_e = Q_{pd} + Q_{tč} + Q_{th} \quad (2.2)$$

Vzniklé teplo řezného procesu Q_e je odváděno do jednotlivých prvků obráběcího systému.

$$Q_e = Q_t + Q_o + Q_n + Q_{pr} \quad (2.3)$$

Q_t - Teplo odvedené třískou [J],

Q_o - Teplo odvedené obrobkem [J],

Q_n - Teplo odvedené nástrojem [J],

Q_{pr} - Teplo odvedené prostředím [J],

2.2. Teplota řezání a její měření

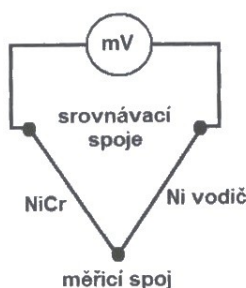
Z hlediska opotřebení nás zajímají jak maximální teploty na čele a na hřbetu, tak i rozložení teplot na těchto plochách. Stanovení teplotního pole čela a hřbetu je experimentálně velmi náročné. Proto se často spokojíme jen se stanovením středních teplot na těchto plochách, popř. stanovením střední teploty celé styčné plochy nástroje s třískou a obrobkem. Střední teplota bude pochopitelně nižší než maximální teplota na břitu, má však výhodu, že ji lze stanovit podstatně snadněji. [1]

Pro měření teploty lze využít celou řadu fyzikálních nebo chemických jevů. Při experimentálním stanovování a při praktických měřeních se využívá především těchto jevů:

- Termoelektrický jev (termočlánky),
- Změna elektrického odporu (termistory),
- Tepelné záření (pyrometry, termovce, fotometrie),
- Změna struktury (teploměrné křídly a barvy),

2.3 Měření termočlánky

Při měření termočlánky se využívá tzv. termoelektrického jevu. Tento jev využívá vzniku termoelektrického napětí (termoelektromotorické síly), v obvodu tvořeného dvěma různými vodiči, jejichž konce jsou vodivě spojeny, jestliže jsou oba konce spoje udržovány na různých teplotách. Při obrábění se ho využije tak, že měřicí spoj je umístěn do místa měření teploty Θ_m a srovnávací spoj je udržován na známé teplotě Θ_0 (obvykle teplota okolí). K těmto vodičům je pak připojen milivoltmetr. (obr. 2.1.) [1]



Obr. 2.2 Schéma zapojení termočlánku [1]

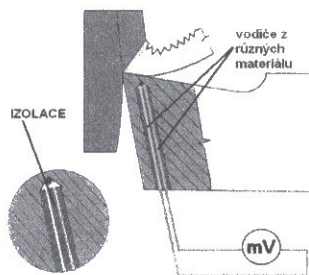
Velikost vznikajícího termoelektrického napětí závisí nejen na rozdílu teplot, ale i na druhu zvoleného materiálu obou vodičů, tvořících termočlánek. Pro praktická měření je možno využít jen některých dvojic kovů nebo slitin. Dvojice kovů musí být sestaveny tak, aby termoelektrické napětí bylo dostatečně velké v rozsahu předpokládaných teplot

Podle provedení lze termočlánky rozdělit:

- Umělý termočlánek,
- Poloumělý termočlánek,
- Přirozený termočlánek,
- Termoduo,

2.3.1. Umělý termočlánek

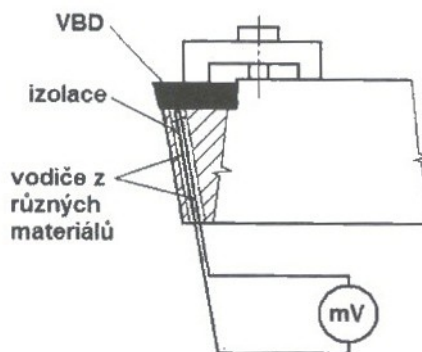
Podstatou umělého termočlánku je přímé umístění termočlánku do místa řezu (měření teploty). S pomocí těchto dvou cizích vodičů lze měřit teplotu v různých místech nástroje i obrobku, kromě stykových ploch bříty s třískou a plochou řezu. Nejčastěji se používá k měření teploty na bříty nástroje. (obr. 2.3.) [1]



Obr. 2.3 Schéma zapojení umělého termočlánku [1]

Upravený a izolovaný termočlánek se vloží na dno otvoru v nástroji. Vlastní zabudování termočlánku do nástroje je poměrně složité a lze jen obtížně zjistit přesnou polohu umístění měřicího spoje termočlánku. Tato poloha zároveň mění i podmínky vedení tepla a často znehodnocuje obráběcí nástroj. [1]

Proto se častěji používá nástrojů s vyměnitelnou břitovou destičkou (slnutý karbid nebo rychlořezná ocel). Termočlánek je stabilně zabudovaný v nástroji a snímá teplotu na dolní ploše břitové destičky. (obr. 2.4.) [1]

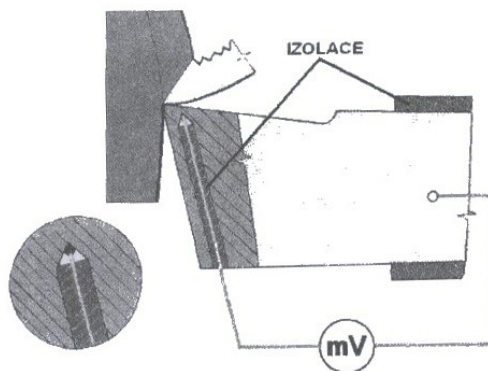


Obr. 2.4 Umělý termočlánek pro nástroj s vyměnitelnou břitovou destičkou [1]

Velmi důležitým článkem je izolace, nejčastěji se používají keramické nebo skleně kapiláry. Srovnávací spoj je umístěn na svorkách milivoltmetru a musí být udržován na okolní teplotě. Výhodou umělých termočlánků je známost charakteristiky závislosti termonapětí na teplotě (normalizované termočlánky). Umožňují nám stanovit teplotu přímo ve stupních celsia a odpadne tím pracné a složité cejchování

2.3.2. Poloumělý termočlánek

Při poloumělém termočlátku tvoří jeden vodič termočlátku materiál nástroje nebo obrobku a druhý cizí vodič je vodivě spojený v místě řezu. Na rozdíl od umělých termočlátku jsou více použitelné vzhledem k malým rozměrům cizího vodiče. Který lze snadno umístit do místa měření. Jeho využití závisí na možnostech umístění izolovaného vodiče do místa řezu a jeho vodivém spojení s materiálem obrobku nebo nástroje. Schéma zapojení je na obrázku (obr. 2.5.) Při řezání deformuje odcházející tříska místo řezu a vytváří tak měřicí spoj termočlátku spolu s břitem nástroje. Toto se dá s výhodou využít při stanovení teploty v oblasti styku třísky s čelem nástroje. Při měření teplotních polí na čele nástroje se používá rozmístění několika cizích vodičů systematicky rozmístěných po čele nástroje. Nástroj a obrobek musí být elektricky odizolován. [1]

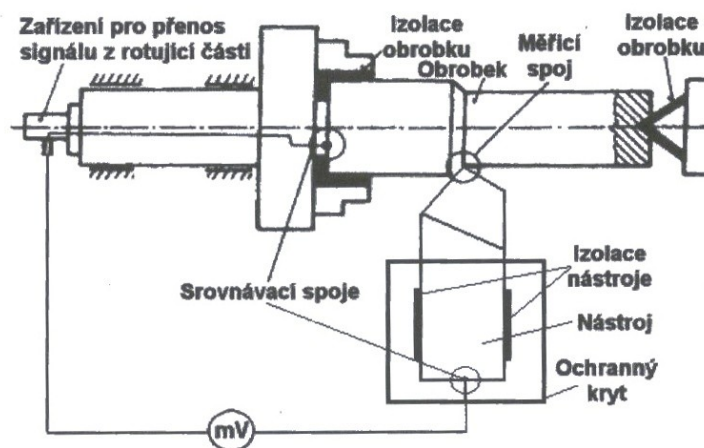


Obr. 2.5 Schéma zapojení poloumělého termočlátku [1]

2.3.3. Přirozený termočlánek

Přirozený termočlánek, jak název napovídá, je bez přídavného cizího vodiče. Jedním z vodičů je materiál nástroje a druhým materiál obrobku. Měřicí spoj je přímo v místě styku břitu nástroje s obrobkem, tzn. Na ploše styku třísky s čelem a hřbetu s plochou řezu. Termoelektrické napětí je potom úměrné střední teplotě v oblasti styku – teplotě řezání. Na ploše styku vzniká soustava elementárních termočlátek s různou teplotou v jednotlivých bodech. Výsledné napětí je proto aritmetickým průměrem termoelektrických napětí těchto mikročlátek. Nutnou podmínkou je vzájemné odizolování nástroje a obrobku. Při běžných měřeních většinou postačuje odizolování nástroje od

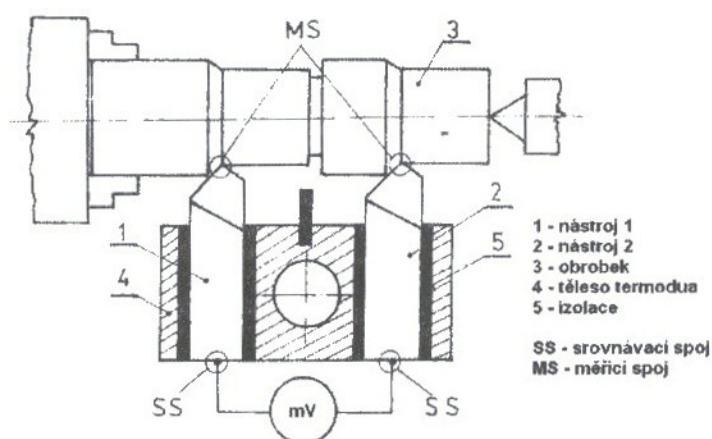
obráběcího stroje, ale pro zvýšení spolehlivosti a přesnosti měření je účelné odizolovat od stroje i obrobek. Nevýhodou přirozených termočlánků je nutnost obtížného a zdlouhavého cejchování systému pro každou dvojici materiálu nástroje a obrobku. [1]



Obr. 2.6 Schéma zapojení přirozeného termočlánku [3]

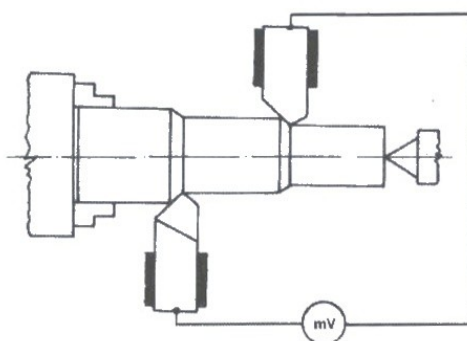
2.3.4. Termoduo

Princip termodua spočívá v současném záběru dvou nástrojů z různých materiálů, stejné geometrie, při stejných řezných parametrech, které spolu tvoří vlastní termočlánek. Obráběný materiál tvoří s každým z nástrojů měřicí spoj a slouží jako tepelný a elektrický vodič. Materiály obou nástrojů se musí lišit chemickým složením tak aby výsledné termoelektrické napětí bylo dostatečně velké a spolehlivě měřitelné. S výhodou lze využít dvojici nástrojů z rychlořezné oceli a slinutého karbidu. Podmínkou pro správnou funkci je odizolování obou nástrojů od stroje a mezi sebou. Výhodou této metody je, že po ocejchování dvojice řezných materiálů lze stanovit teplotu řezání pro jakýkoliv elektrický vodivý materiál obrobku. [1]



Obr. 2.7 Schéma zapojení termodua [1]

Nevýhodou termodua na obr. 2.7 je velká spotřeba obráběného materiálu, dána roztečí obou nožů a nutností úpravy polotovaru na současný záběr dvou nožů.



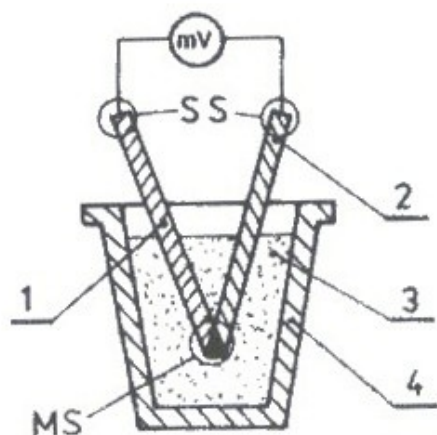
obr. 2.8 Termoduo s uspořádáním nástrojů proti sobě [1]

2.3.5. Cejchování termočláčku

Pro stanovení závislosti termoelektrického napětí na teplotě je nejprve nutné konkrétní termočlánek ocejchovat. Tato cejchovní křivka nám potom umožní převést naměřené hodnoty termoelektrického napětí v mV na teplotu ve °C. [1]

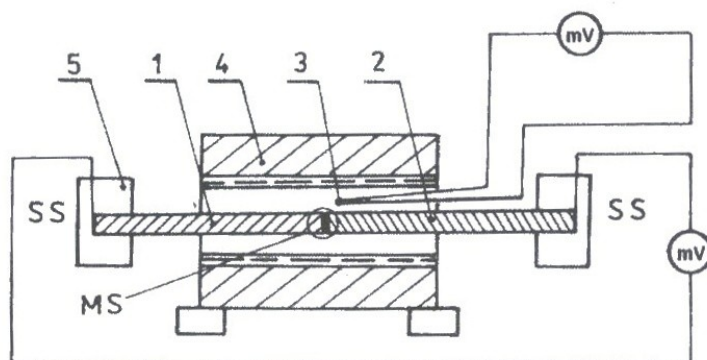
Cejchování lze provádět třemi základními způsoby: [1]

- V lázních čistých kovů (Obr. 2.9),
- V elektrických pecích s teplotní regulací (Obr. 2.10),
- Cejchování plamenem (Obr. 2.11),



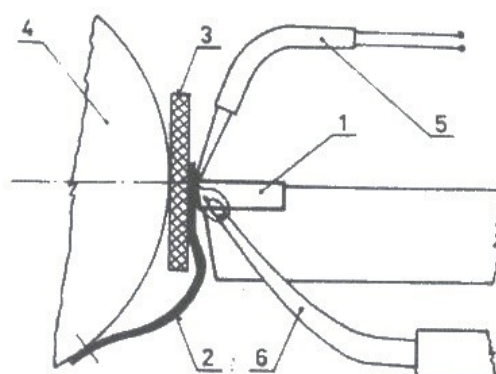
- MS - měřicí spoj,
 SS - srovnávací spoj,
 1 - materiál nástroje,
 2 - obráběný materiál,
 3 - lázeň o známé teplotě tavení,
 4 - kelímek,

Obr. 2.9 Schéma cejchování v lázni z čistých materiálu [1]



- MS - měřicí spoj,
 SS - srovnávací spoj,
 1 - materiál nástroje,
 2 - obráběný materiál,
 3 - cejchovní termočlánek,
 4 - regulační píčka,
 5 - termostat,

Obr. 2.10 Schéma cejchování v elektrických pecích [1]



- 1 - břitová destičky,
 2 - tříška,
 3 - azbestová vložka,
 4 - obrobek,
 5 - cejchovní termočlánek,
 6 - plynový hořák,

Obr. 2.11 Schéma cejchování plamenem [1]

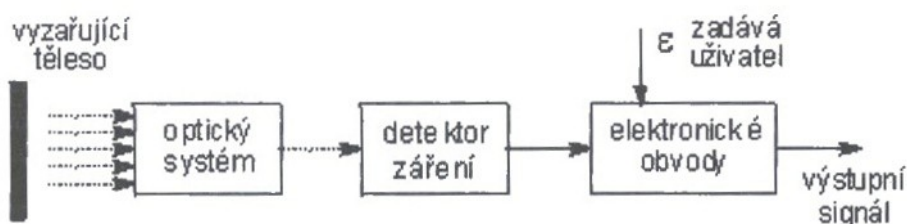
2.3.6. Pyrometry

Pyrometry patří mezi bezdotyková měřidla určená k měření teploty fungující na principu tepelného záření, které vysílají do okolního chladnějšího prostředí měřené objekty. Při experimentálním měření se tato metoda používá k měření povrchové soustavy stroj – nástroj – obrobek.

Dva základní druhy pyrometru:

- Úhrnné pyrometry (radiální nebo širokopásmové),
- Fotoelektrické pyrometry (pásmové nebo úzkopásmové),

Úhrnné pyrometry využívají celkového tepelného záření, které vyzařuje těleso v celém spektru volných délek. Tepelné záření je soustředěno optickou soustavou na teploměrné čidlo. Tím bývá nejčastěji termočlánek nebo odporový teploměr. Termoelektrické napětí se měří zpravidla milivoltmetrem se stupnicí, která je kalibrována přímo ve °C. [1]



Obr. 2.12 Schéma úhrnného pyrometru [1]

Všechny radiální pyrometry pracují s malými chybami pouze v případech, kdy emisivita $\epsilon \rightarrow 1$. Tuto podmínku splňují dobře uzavřené prostory, objekty bez lesku apod. aby pyrometr měřil teplotu zářiče správně, musí být zaručeno, že na přijímači záření dopadají jen tepelné paprsky zářiče. Zdrojem častých chyb je rušivě působící denní světlo. Například těleso ozářené sluncem nejde měřit. [1]



Obr. 2.13 Pyrometr MAURER KTR 2300 [8]

2.3.7. Emisivita

Poměr celkového zářivého toku q vyzařený daným tělesem k zářivému toku q_0 , které by vyzařilo absolutně černé těleso se nazývá emisivita ε [-]. Emisivita tak číselně vyjadřuje zhoršení vyzařovacích vlastností zdroje ve srovnání s absolutně černým tělesem a závisí na vlnové délce vyzařování a teplotě tělesa, která vykazují nezávislost emisivity na vlnové délce vyzařování. [9]

Dokonalé černé těleso:

Dokonalé černé těleso by mělo mít emisivitu 1,000. Jedná se o fiktivní věc, která v reálném světě neexistuje, ale je to dobrý prototyp pro modelování tepelného vyzařování.

Nejistota měření způsobena neznalostí správné hodnoty emisivity povrchu tělesa:

Nejistota měření způsobena neznalostí správné hodnoty emisivity povrchu tělesa patří k nejčastějším nepřesnostem při měření bezdotykovými teploměry. Pro nastavení měřeného předmětu můžeme použít celou řadu metod. [9]

1. vyhledávání emisivity v tabulkách vlastností materiálu

v některých tabulkách můžeme nalézt i pro jaké pásmo vlnových délek je takto určena emisivita konstantní a to nám může pomoci při správném výběru pyrometru. Ale bohužel je potřeba brát takto určenou emisivitu hodně s rezervou, protože skutečnou emisivitu povrchu může ovlivnit celá řada dalších skutečností. [9]

2. Ohřátím měřeného vzorku na známou teplotu

Pokud ohřejeme těleso nebo jeho vzorek na předem známou teplotu, můžeme poté na pyrometru měnit hodnotu emisivity, dokud naměřená teplota neodpovídá teplotě, na kterou jsme předmět ohřívali. [9]

3. Použitím dodatečného materiálu nebo speciálního nátěru části měřeného objektu

Při relativně nízkých hodnotách (do 250°C), lze nalepit na měřený objekt speciální plastovou samolepku o známé emisivitě. Pyrometrem se potom změří teplota samolepky s touto emisivitou a poté se nastaví emisivita měřeného povrchu tak, aby změřená teplota odpovídala teplotě samolepky. Takto nastavenou emisivitu lze pak používat na všech měřených objektech z tohoto materiálu. [9]

4. Kombinaci dalších metod měření povrchové teploty

V současné době jsou na trh dodávány pyrometry, které jsou navíc vybaveny dotykovou sondou. Takový pyrometr dokáže podle indikované povrchové teploty dotykového čidla automaticky přednastavit hodnotu emisivity. [9]

2.4. Měření pomoci termovize

Z hlediska studia teplotních jevů při procesu obrábění představuje termovize velmi přesnou a progresivní metodu v experimentálním výzkumu teplot při řezání. Předností této metody je záznam i velmi rychlé změny teploty, což je důležité především pro posouzení dynamických jevů. Uspořádání je v podstatě stejné jako u termokamery tzn., že je termovize umístěna na suportu a objektiv zaměřen přímo do oblasti řezu. Velkou výhodou tohoto profesionálního systému je možnost vybrat si ze snímku jeden či více bodů, kde můžeme zjistit okamžité teploty v místě řezu či zobrazit celé teplotní pole obráběcího nástroje. Důležitou podmínkou je správné nastavené emisivity měřeného materiálu obrobku. [1]



Obr. 2.14 Termovizní kamera infraCAM [6]

2.5. Měření pomoci teplotních indikátorů

Teplotní indikátory jsou termochemické teploměry, kterými se dají určovat místa se stejnou teplotou, tzv. izotermy. Po nanesení těchto látek na povrch zkoumané součásti nastává po dosažení její určité teploty ke změně barvy, či skupenství. Teplotní pole lze tak získat poměrně rychle, bez náročných příprav na měření a bez poškození nástroje či obrobku. Nevýhodou tohoto měření je nemožnost získání přehledu o teplotě v místě styku

obráběcího nástroje s třískou a výroba těchto látek je pouze pro malý rozsah teplot. Mezi nejpoužívanější indikátory patří: [1]

- Teploměrné barvy,
- Teploměrné tužky,
- Teploměrné křídly,

Teploměrné barvy

Teploměrné barvy jsou chemické nátěry, které při dosažení určité teploty (tzv. teplota zvratu) změni svou původní barvu. Ve formě prášku se před použitím rozmíchají v alkoholu. Mohou být také v tekutém stavu, případně jako sprej. Nanáší se před ohřevem. Teplotní rozsah bývá od 40 °C do 1400 °C. v místě teplotního zvratu se změni barevná stopa. [1]

Teploměrné tužky

Teploměrné tužky na rozdíl od barev se nanáší na ohřátý povrch. Bývají jednozvratné nebo dvojzvratné (dosahují dvou barevných změn při dvou teplotách zvratu). [1]

Teploměrné vosky a křídly

Teploměrné vosky a křídly při dosažení určité teploty měni pevné skupenství na kapalné, popřípadě změni i svou původní barvu. Nanášejí se taktéž na ohřátý povrch a dodávají se v sadách pro určitý rozsah teplot. [1]

3. Řezná keramika

Moderní definici je keramika obecně charakterizována jako převážně krystalický materiál, jehož hlavní složkou jsou anorganické sloučeniny nekovového charakteru. Intenzivní výzkumnou a vývojovou činností byly v posledních letech výrazně zlepšeny některé vlastnosti keramických materiálů tak, že to umožnilo podstatně rozšířit jejich aplikace ve strojírenské výrobě. [2]

Nástroje s břitovými destičkami z řezné keramiky jsou vhodné především pro užití ve velkosériové a hromadné výrobě, všude tam, kde se chce dosáhnout maximální efektivity při náročnějších podmínkách obrábění, než umožňují nástroje se slinutými karbidy. Hlavní výhodou keramiky je zachování tvrdosti ostří i za teploty až 1200 °C proti slinutým karbidům, kde jeho tvrdost klesá již od 700 °C. Vhodné jsou i při obrábění materiálů, které jsou obtížně obrobitelné nástroji ze slinutých karbidů. [7]

S výhodou využíváme tyto vlastnosti řezné keramiky:

- Vysoká tvrdost a odolnost proti plastické deformaci,
- Odolnost proti mechanickým namáháním,
- Odolnost proti působení vysokých teplot (až 1200 °C),
- Vysoká chemická stabilita,
- Odolnost proti opotřebení, chemickým vlivům a korozi,
- Nízká měrná hmotnost,
- Poměrně nízká cena,

Řezná keramika patří do skupiny velmi výkonných řezných materiálů, jejich úspěšné nasazení ve strojírenské výrobě však vyžaduje dodržet určité zásady, aby se jejich výhodné vlastnosti mohly v plné míře projevit a nevýhodné potlačit.

Hlavním podmínkám efektivního využití řezné keramiky patří zejména:

- Vysoká tuhost stroj – nástroj – obrobek,
- Použití výkonných obráběcích strojů s širokým rozsahem posuvů a otáček,
- Výborný stav obráběcího stroje,
- Zabezpečení pevného a spolehlivého upnutí obrobku,
- Odstranění kůry obráběného materiálu (zejména u odlitků, výkovků) jiným druhem, nástrojového materiálu (např. slinutým karbidem),
- Srážení náběhových hran na obrobku,
- Najíždění a vyjíždění při snížených hodnotách posuvu na otáčku,
- Výběr vhodného tvaru a velikosti břitové destičky,
- Správná volba tvaru ostří břitové destičky,

3.1. Výroba řezné keramiky

Proces výroby kompaktních keramických součástí (a tedy i vyměnitelných břitových destiček pro řezné nástroje) je velmi podobný procesu výroby součástí ze slinutých karbidů a cermetu (např. příprava práškové směsi, mletí, míchání, tvarování, sušení, předsunování, slinování a úpravy povrchu). Podstatná rozdíl je ale v tom, že keramické výrobky neobsahují žádný materiál, jehož funkcí by bylo spojení zrn tvrdé fáze do jednolitého tělesa (jako je např. u slinutých karbidů, kde pojící fází je kobalt, nebo u cermetu, kde je pojivem převážně nikl). Tato skutečnost celou výrobu keramických materiálu výrazně znesnadňuje a klade velmi vysoké nároky jak na výrobní zařízení, tak zejména na dodržení všech předepsaných parametrů technologického postupu výroby. [2]

3.2. Rozdělení řezné keramiky

Pro dělení a značení keramických řezných materiálu neexistuje konkrétní norma (jako je tomu např. u slinutých karbidů), všeobecně je používáno následující dělení:

- Oxidová keramika
 - o Čistá – Al_2O_3 ,
 - o Polosměsná $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{CoO}$,
 - o Směsná $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiN}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{TiC}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{TiN}$,
- Nitridová keramika Si_3N_4 , $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Y}_2\text{O}_3$, $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{TiN}$,

3.2.1. Čistá keramika

Čistá keramika obsahuje až 99,9 % kyslíčnicku hlinitého Al_2O_3 . Je doporučována většinou pro dokončovací soustružení šedé litiny, uhlíkových a nízkolegovaných ocelí při použití řezné rychlosti přesahující $100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Barva čisté keramiky lisované za studena je bílá, u keramiky lisované za tepla je šedá. [3]

3.2.2. Polosměsná keramika

Polosměsná keramika vzniká přidáním různých přísad do čisté keramiky, nejčastěji kyslíčnicku zirkonu ZrO_2 – až do 20%. Polosměsná keramika, navíc další přísady v kombinaci $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{CoO}$. Vyměnitelné břitové destičky vyráběné zatepla mají černou barvu. [3]

3.2.3. Směsná keramika

Směsná keramika obsahuje vedle korundu Al_2O_3 přísadu 20 – 40% karbidu titanu TiC . Tento materiál má v porovnání s čistou keramikou větší odolnost proti teplotním a mechanickým rázům. Je doporučována pro frézování šedé litiny a oceli, pro soustružení načisto a jemné soustružení ocelí cementačních, zušlechtěných a tvrdé litiny. Při výrobě vyměnitelných destiček zatepla mají tyto černou barvu. [3]

3.2.4. Keramika vyztužená viskerem

Název je odvozen od vláken krystalu, kterému se říká visker. Tyto viskery mají průměr pouze cca $1\mu m$ a délku více než $20\mu m$. Jsou z karbidu křemíku a mají velmi vysokou pevnost. Vyměnitelné břitové destičky z vyztužené keramiky vykazují zvýšenou houževnatost, pevnost v tahu a odolnost proti teplotnímu šoku. Podíl viskeru v rezném materiálu činí asi 30%. Barva hotových destiček je zelená. Vyztužená keramika je doporučována pro obrábění žáruvzdorných slitin, kalené oceli, šedé litiny a zejména při obrábění přerušovaným řezem. [3]

3.2.5. Nitridická keramika

Keramika na bázi nitridu křemíku má relativně vysokou odolnost proti mechanickému porušení břitu a doporučuje se pro dokončování i hrubování šedé litiny, litiny s hrubou licí kůrou. Je vhodná i pro přerušované řezy, odolná proti teplotním rázům, vhodná pro soustružení žáropevných slitin na bázi niklu a též pro kolísající hloubku řezu. Keramika na bázi Si_3N_4 si zachovává vysoký stupeň tvrdosti za tepla při teplotách, které slinutý karbid nesnáší. Tento rezný materiál je doporučován pro obrábění šedé litiny za sucha i při chlazení, reznými rychlostmi až $400\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. [3]



Obr. 3.1 Řezná keramika [7]

4. Vlastní experiment

V této části se budeme zabývat jednotlivými přístroji, stroji, měřicími zařízeními, nástroji a materiály obrobku, které jsme použili v našem experimentu. Dále popíšeme samotný experiment a vyhodnotíme získané data a informace.

4.1. Stroj

Vlastní experiment byl proveden na univerzálním hrotovém soustruhu MAŠSTROJ TROJAN C11 MV (obr. 4.1)



Obr. 4.1 Soustruh Mašstroj Trojan C11 MV

Základní parametry soustruhu:

Vzdálenost hrotů:	1100 mm.
Oběžný průměr nad ložem:	500 mm.
Oběžný průměr nad suportem:	290 mm.
Průměr sklíčidla:	ø250/315 mm.
Zdvih příčného suportu:	270 mm.
Zdvih podélného suportu:	950 mm.
Výkon hlavního motoru S1:	15 kW.

4.2. Měřicí zařízení pro měření teploty a zaznamenávání naměřených hodnot

Při našem experimentu měření teploty při obrábění inteligentními nástroji jsme používali pyrometr AMIR 7838 – 21, který byl propojen se záznamovým zařízením ALMEMO 2590-4S a ten ukládal naměřené hodnoty v digitální podobě přímo do počítače, kde s nimi můžeme dále pracovat.

4.2.1. Pyrometr AMIR 7838 – 21

Pro měření teploty při soustružení inteligentními nástroji jsme používali pyrometr AMIR 7838 – 21. (obr. 4.2.) Pyrometr AMIR 7838 – 21 snímá infračervené záření vyzařované měřeným objektem a převádí jej dále na měřitelný elektrický signál. Jelikož intenzita infračerveného záření je závislá na teplotě měřeného objektu, je i hodnota výstupního signálu informací o jeho teplotě.



Obr. 4.2. Infra pyrometr AMIR 7838-21 [5]

Technická data pyrometru AMIR 7838-21 : [5]

Měřicí rozsah:	200 – 1000 °C.
Přesnost:	+ - 1% z měřené hodnoty (při správně nastavené emisivitě) nebo + - 1,4°C (platí vyšší hodnota).
Reprodukovatelnost:	+ - 0,5 % z měřené hodnoty nebo + - 0,7 °C (platí vyšší hodnota).
Spektrální citlivost:	3,9 nm.
Doba odezvy:	165 ms pro 95% hodnoty.
Emisivita:	0,10 – 0,99 v krocích po 0,01.
Výstup:	4 – 20 mA lineární.
Napájecí napětí:	12 – 24 V DC + - 20%.

Dovolená teplota okolí:	bez chlazení	0 až 70°C.
	se vzduch. chlazením	0 až 120°C.
	s vodním chlazením	0 až 175°C.
	s ochr. Al-pouzdrém	0 až 315°C.
	skladovací	-18 až 85°C.
Rel. vlhkost:	10 – 95% nekondenzující.	
Rozměry:	délka 187 mm.	
	průměr bez chlazení 42 mm.	
	průměr s chlazením 60 mm.	
Hmotnost:	330 g bez chlazení.	
	595 g s chlazením.	
Pouzdro:	Al – slitina, NEMÁ 4 (IEC 529, IP65).	
Odolnost proti nárazu:	50C, 11ms, ve všech osách (IEC 68-2-27).	
Odolnost proti vibracím:	3G, 11 – 200 Hz ve všech osách (IEC 68-2-6).	

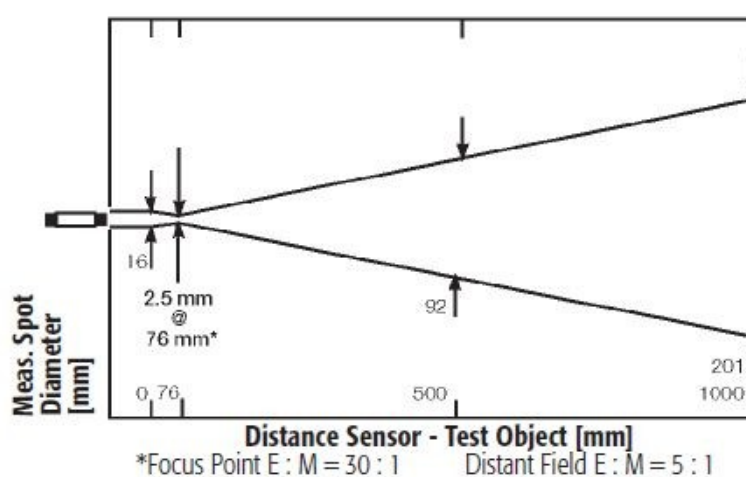
Příslušenství pyrometru:

Optický zaměřovací nástavec

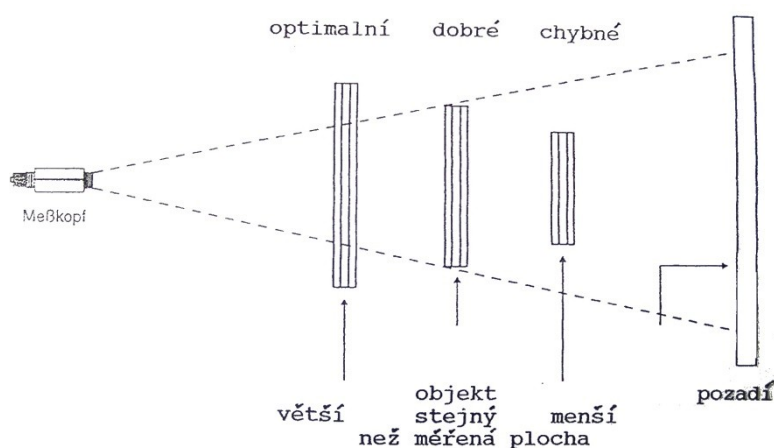
Slouží k přesnému zaměření malých a vzdálených objektů od čočky. Po pevném upevnění sondy do stojanu, můžeme našroubovat nástavec (optický zaměřovač) na tělo pyrometru a přes zrcátko, které je natočené o 90° zaměříme přes nitkový kříž bod zaměřovače přímo na měřené těleso. V našem případě těsně za hranu VBD dle (obr. 4.3.) Pro správné měření musí být nastavena optimální vzdálenost sondy od měřeného objektu. (obr 4.4, obr.4.5) Nevýhoda optického zaměřovače je ta, že tato metoda je méně přesná než laserový zaměřovač a dále může dojít k nechtěné manipulaci s pyrometrem při odstraňování zaměřovače a tím i ke snížení přesnosti měření.



Obr 4.3 Červeně označeno místo zaměření pyrometru na VBD



Obr. 4.4 Závislost rozměru cíle na vzdálenosti čočky od měřeného objektu[5]



Obr. 4.5 Vzdálenost sondy od měřeného objektu

Pro záznam naměřených hodnot jsme použili dataloger ALMEMO 2590-4S

4.2.2. Zařízení pro záznam naměřených hodnot

Záznamové zařízení ALMEMO (Obr. 4.6) slouží ke zpracovávání naměřených dat, které nám vysílá pyrometr AMIR 7838-21. Tento pyrometr vysílá signál v rozmezí 4 – 20 mA. Záznamové zařízení nedokáže převést tuto hodnotu na stupně celsia. Proto jsme museli provést kalibraci pyrometru. Viz. Další kapitola. Naměřené hodnoty v % mA se ukládají v digitální podobě přímo do počítače. Kde s nimi můžeme dále pracovat, zpracovávat je a vyhodnocovat.



Obr. 4.6 Dataloger ALMEMO 2590-4S

4.2.3. kalibrace pyrometru AMIR 7838-21

Při propojení datalogru ALMEMO 2590-4S a pyrometru AMIR 7838-21 nedošlo k převodu výstupního signálu (% mA) na °C. Dataloger nám ukazoval pouze % mA. Ale tato veličina je pro naše účely nepoužitelná. Proto jsme museli provést kalibraci pyrometru pro určení závislosti teploty na mA.

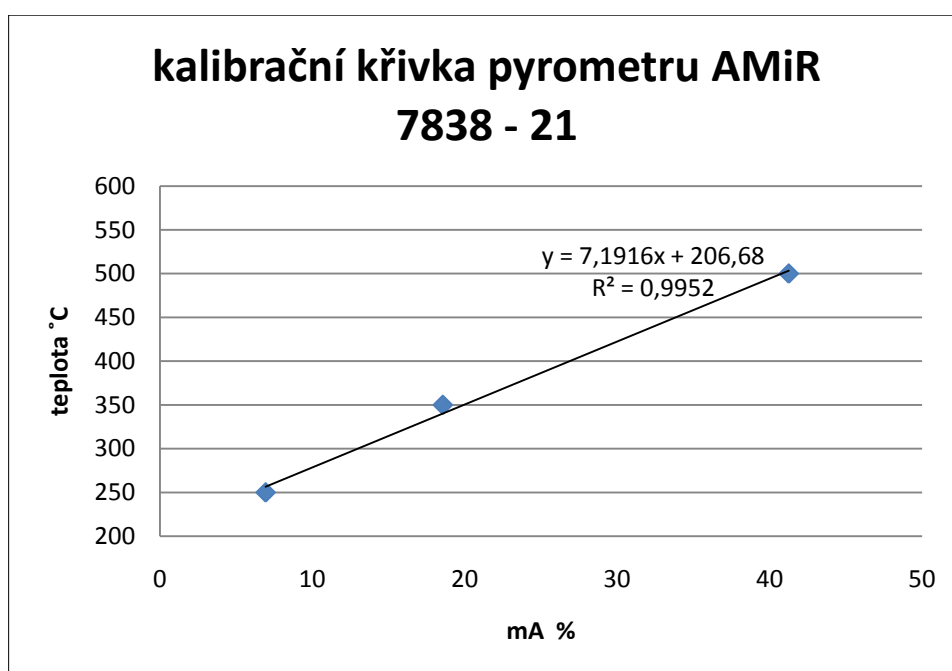
Kalibraci jsme provedli pomocí elektrické laboratorní pece LAC. (obr. 4.7.) Ve které jsme zahřívali ocelový obrobek. Na el. peci jsme digitálně nastavili požadovanou vnitřní teplotu pece ve °C. Obrobek jsme postupně nahřívali na 250°C, 350°C a 500°C. Na každé teplotě jsme provedli 6 měření, přičemž mezi jednotlivými měřeními byl interval 5 min. aby byla zajištěná dostatečně dlouhá doba pro přestup tepla mezi el. pecí a obrobkem. Z hodnot naměřených pomocí pyrometru AMIR 7838-21 jsme následně vytvořili kalibrační křivku, podle které můžeme přepočítávat výstupní hodnotu z pyrometru v % mA na námi požadované stupně celsia (°C).

Tab. 4.1 Naměřených hodnot:

	Teplota pece 250°C	Teplota pece 350°C	Teplota pece 500°C
Číslo měření	Nam. hodnota % mA	Nam. hodnota % mA	Nam. hodnota % mA
1	6,15	18,78	42,63
2	7,50	18,06	41,54
3	8,16	18,15	40,85
4	5,88	18,91	41,32
5	6,47	18,74	40,64
6	7,43	18,70	40,53
Aritmetický průměr	6,93	18,56	41,25
Výsledek	6,93±0,81	18,56±0,33	41,25±0,71



Obr. 4.7 Elektrická laboratorní pec LAC s pyrometrem AMIR



Obr.4.8 Kalibrační křivka pyrometru AMIR 7838-21

4.3. Řezný nástroj

4.3.1. Vyměnitelná břitová destička od firmy Kyocera

Při našem experimentu jsme využívali vyměnitelnou břitovou destičku (VBD) od známé firmy Kyocera. (Obr. 4.9.) VBD byla vyrobena z řezné keramiky KS - 6000 na kterou byla nanесena odporová vrstva. Přesné složení odporové vrstvy není známo, ale podle barvy se dá usoudit, že se jedná o povlak TiN. Tato vrstva tvoří elektrický obvod, její odpor je následně měřen a zaznamenáván.

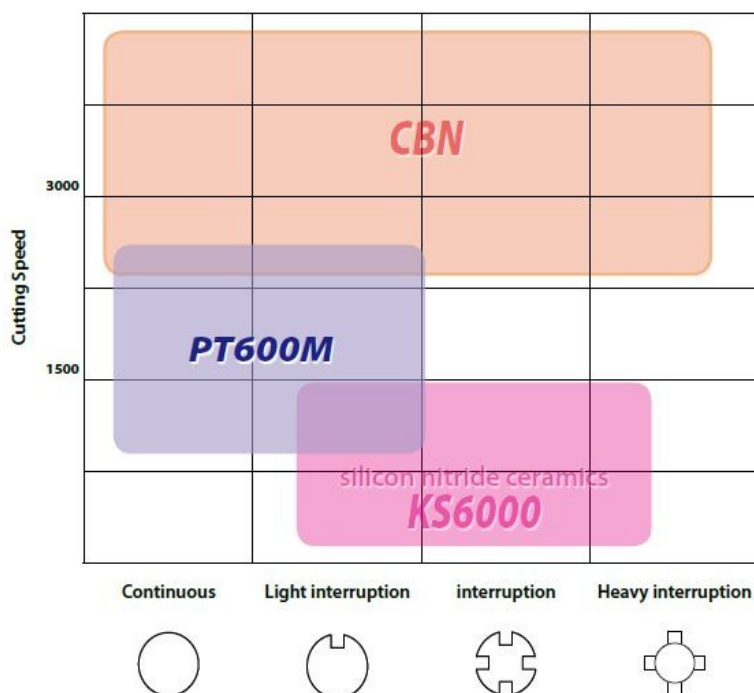


Obr. 4.9 VBD Kyocera – KS 6000

KS – 6000 – Keramika na bázi nitridu křemíku má relativně vysokou odolnost proti mechanickému opotřebení břitu a je vhodná zejména pro dokončovací a hrubovací práce na šedé litině s hrubou licí kůrou (Obr. 4.10). Mohou se používat s nebo bez chlazení. Doporučuje se pro přerušované řezy (Obr. 4.11.), je odolná proti teplotním rázům a vhodná pro opracování žárovevných slitin na bázi niklu. Keramika na bázi Si_3N_4 je charakteristická vysokým stupněm tvrdosti při teplotách, které slinuty karbid nesnese. [10]

Workpiece Material	Cast Iron (Gray Cast Iron/Ductile Cast Iron)			
Cutting Range	Finishing			Roughing
Classification	K01	K10	K20	K30
Ceramic	A65			
	A66N			
	KS6000			

Obr. 4.10 Využití řezné keramiky KS 6000 [11]



Obr. 4.11 Možnosti aplikace řezné destičky [11]

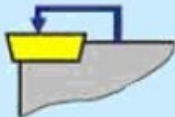



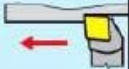

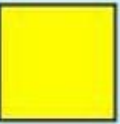


4.3.2. Nožový držák CERADEX XCSRNR2525M-1207SEN

Při experimentu byl používán speciální nožový držák pro VBD od firmy CERADEX typ XCSRNR2525M-1207SEN. (obr. 4.12.) Jedná se o nožový držák, který je upraven pro vedení elektrického signálu tělem držáku. Slouží k měření elektrického odporu VBD.



Obr. 4.12 Držák CERADEX XCSRNR2525M-1207SEN

Tab. 4.2 Identifikace držáku XCSRNR2525M-1207SEN [12]

<i>Druh držáku</i>	<i>Způsob upínání</i>	<i>Tvar destičky</i>	<i>Tvar nože</i>	<i>Úhel hřbetu</i>
X <i>speciální</i>	C 	S 	R  75°	N $\alpha_n=0^\circ$ 
<i>Směr řezu</i>	<i>Výška držáku</i>	<i>Šířka držáku</i>	<i>Delka držáku</i>	-
R 	25	25	M 150 	-
<i>Velikost hrany</i>	<i>Tloušťka destičky</i>	<i>Tvar destičky</i>	<i>Úhel hřbetu</i>	<i>provedení</i>
12	7	S 	 20° E	 N

4.4. Použité materiály obrobku

Při experimentu jsme obráběli tři různé materiály. Jako první jsme použili materiál 12 020, který jsme obráběli hranou č. 2 VBD. Další materiál byl použit 14 220 (hrana č.3) a jako poslední materiál 15 142 (hrana č.4). U materiálu 12 020 a 14 220 se nám nepodařilo dosáhnout požadovaného opotřebení břitové destičky, proto jsme ještě pokračovali do úplného opotřebení hranou 2 a 3 na materiálu 15 142.

4.4.1. Materiál A - 12 020 (1.1148, C16E)

Jedná se o konstrukční ocel k cementování. Používá se na méně namáhané strojní součásti silničních motorových vozidel určené k cementování se střední pevností v jádře po kalení např. méně namáhaná ozubená kola, vačkové hřídele, vložky, větší řetězová kola, pouzdra, vodítka, ozubená a řetězová kola, nástroje a měřidla. Ve stavu žíhaném na háky jeřábů, výtahů apod. součásti k cementování lisované z plechu. Ocel není vhodná ke galvanickému pokovování.

Tab. 4.3 Chemické složení oceli 12 020

C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
0,12 až 0,18	max. 0,4	0,6 až 0,9	max. 0,035	max. 0,035

Tab. 4.5 Mechanické vlastnosti a třída odpadu oceli 12 020

Označení podle ČSN	Mechanické vlastnosti			Třída odpadu
	R_m [MPa]	$R_{e\ min}$ [MPa]	Tvrlost HB	
12 020	min 380	235	max. 163	007

Byl použit polotovár - tyč kruhová \varnothing 94 mm délky 620 mm



Obr. 4.13 Materiál A po skončení experimentu

4.4.2. Materiál B - 14 220 (1.7131, 16MnCr5)

Ocel 14 220 je určena k cementování a ke kyanování. Ocel je dobře tvařitelná za tepla, po žíhání na měkko i za studena, se zaručeným rozmezím prokalitelnosti. Je dobře obrobiteľná - pro hladké obrábění se doporučuje ocel zušlechťená na pevnost 690 - 880

MPa. Je vhodná pro strojní součásti pro zušlechtění do Ø 35 mm, k cementování s velmi tvrdou cementovanou vrstvou s velkou pevností v jádře (hřídele, ozubená kola, vačkové hřídele, zdviháky ventilů, pístní čepy, zubové spojky), pro sériovou výrobu strojních součástí za předpokladu dodržení téže technologie tepelného zpracování také u odběratele. Svařitelnost dobrá. [13]

Tab. 4.6 Chemické složení oceli 14 220

C [%]	Mn [%]	Si [%]	Cr [%]	Ni [%]	Cu [%]	P [%]	S [%]
0,16	1,21	0,21	0,9	0,9	0,23	0,012	0,029

Tab. 4.8 Mechanické vlastnosti a třída odpadu oceli 14 220

Označení podle ČSN	Mechanické vlastnosti			Třída odpadu
	R_m [MPa]	$R_{e\ min}$ [MPa]	Tvrdość HB	
14 220	min 785	590	min. 235	012

Byl použit polotovár - tyč kruhová Ø 94 mm délky 620 mm



Obr. 4.14 Materiál B po skončení experimentu

4.4.3. Materiál C - 15 142 (1.7223, 41CrMo4)

Ocel 15 142 je určena k zušlechtování a k povrchovému kalení, pro velké výkovky. Ocel je dobře tvařitelná za tepla, ve stavu žíhaném na měkko dobře obrobiteľná. Je vhodná pro povrchové kalení. Tvrdost povrchově kalené vrstvy závisí na způsobu kalení, rozměru a geometrickém tvaru součásti a je cca 54 - 60 HRC. Užívá se na velmi namáhané součásti strojní a součásti silničních motorových vozidel (hřídele a spojovací součásti). [13]

Tab. 4.9 Chemické složení oceli 15 142

C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Mo [%]
0,38 – 0,44	0,15 – 0,4	0,5 – 0,8	0,03	0,03	0,9 – 1,2	0,15 – 0,25

Tab. 4.11 Mechanické vlastnosti a třída odpadu oceli 15 142

Označení podle ČSN	Mechanické vlastnosti			Třída odpadu
	R_m [MPa]	$R_{e\ min}$ [MPa]	Tvrdość HB	
15 142	min. 750	500	250	035

Byl použit polotovár - tyč kruhová \varnothing 89 mm délky 620 mm



Obr. 4.15 Materiál C před experimentem

4.5. Postup experimentu

Před samotným začátkem měření je důležité si připravit všechny potřebné věci a zařízení. Jako první jsme uvedli do provozu soustruh Mašstroj Trojan C11 MV, který jsme řádně očistili, zkontrolovali, promazali a připravili k následnému soustružení. Následně jsme umístili do nožové hlavy držák nástroje CERADEx XCSRNR2525M-1207SEN s vyměnitelnou břitovou destičkou Kyocera – KS 6000. Poté jsme upevnili pyrometr AMIR 7838-21 do předem připraveného držáku umístěného na supportu soustruhu. (Obr. 4.16.) Důležitá fáze přípravy je správné nastavení pyrometru. Nevýhodou tohoto pyrometru je optický zaměřovač, který se musí našroubovat na tělo sondy a následně

zaměřit do požadovaného místa měření. Aby byl měřící bod pyrometru co nejmenší, v našem případě 2,5 mm musí být ohnisková vzdálenost čočky od měřeného objektu 76 mm. (Obr. 4.4) z důvodu velkého rozměru zaměřovacího zařízení a jeho montáži a demontáži na pyrometru nebylo možno dosáhnout požadované ohniskové vzdálenosti 76mm. Námi nastavená nejnižší možná vzdálenost byla 85mm tudíž se zvětšil i průměr zaměřovacího bodu. Po správném zaměření (Obr. 4.3.) jsme odstranili zaměřovač a pokračovali v zapojování pyrometru. Ten jsme propojili s datalogerem ALMEMO 2590-4S a dále s počítačem. Kde se zaznamenávaly všechny naměřené hodnoty. Frekvence záznamu byla 0,3 sekundy. Naměřené hodnoty jsme ukládali ve formátu .txt pro další zpracování. Emisivitu pyrometru jsme už nemuseli nastavovat, byla nastavená a zkontrolovaná při dřívějším měření teploty u předešlého experimentu.



Obr. 4.16 Upevnění pyrometru se zaměřovačem

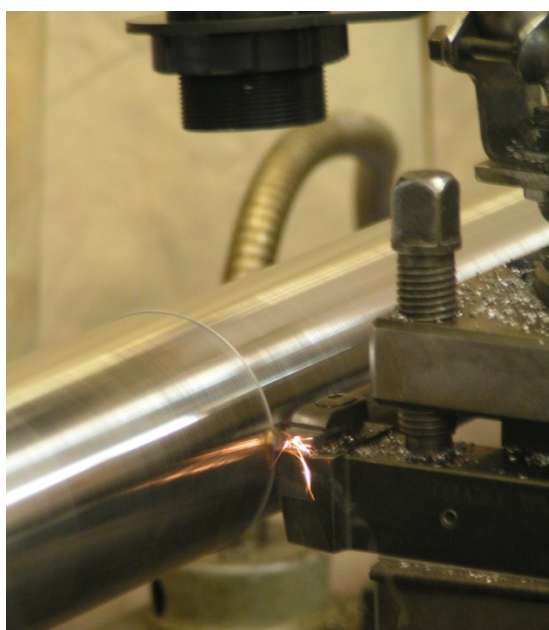
Polotovary jsme upínali do tříčelist'ové sklíčidla a podpírali otočným hrotem. Všechny polotovary nebyly opracované, proto jsme museli před samotným experimentem odstranit kůru z materiálu, abychom měli konstantní podmínky při řezu.



Obr. 4.17 Připravený polotovar upnutý v třícelist'ovém sklíčidle a podepřen hrotem

4.5.1. Řezné podmínky při experimentu

Během celého měření jsme se snažili u jednotlivých řezu a materiálu dosahovat přibližně stejných řezných podmínek. Hloubka řezu a posuv na otáčku byl v celém experimentu konstantní. $a=2\text{mm}$ $f=0,15\text{mm}$. Volba řezné rychlosti byla velmi omezena parametry zvoleného stroje (max. $n=2000 [\text{min}^{-1}]$). Abychom dosahovali přibližně stejných parametru řezné rychlosti při všech řezech, volili jsme řeznou rychlost přibližně $v_c = 240 \pm 30 [\text{m} * \text{min}^{-1}]$ Všechny řezné parametry jsou uvedeny v tabulkách (4.12, 4.13, 4.14).



Obr. 4.18 Ukázka řezného nástroje v řezu

Tab. 4.12 Řezné podmínky při jednotlivých řezech Materiál A - 12 020

destička Kyocera řezná hrna č.	Č. řezu	délka řezu [mm]	ØD [mm]	Hloubka řezu ap [mm]	otáčky n [min^{-1}]	posuv f [mm]	Řezná rychlost v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]
2	1	84	94	2	800	0,15	236
	2	165	94		800		236
	3	355	94		800		236
	4	566	90		800		226
	5	564	86		1000		270
	6	562	82		1000		257
	7	560	78		1000		245
	8	558	74		1000		232
	9	556	70		1250		275
	10	554	66		1250		259
	11	552	62		1250		243
	12	550	58		1250		228
	13	548	54		1600		271
	14	546	50		1600		251
	15	544	46		1600		231
	16	542	42		1600		211
	17	540	38		2000		239
	18	538	34		2000		214
	19	536	30		2000		188

Tab. 4.13 Řezné podmínky při jednotlivých řezech Materiál B – 14 220

destička Kyocera řezná hrna č.	Č. řezu	délka řezu [mm]	ØD [mm]	Hloubka řezu ap [mm]	otáčky n [min^{-1}]	posuv f [mm]	Řezná rychlost v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]
3	1	570	94	2	800	0,15	236
	2	568	90		800		226
	3	566	86		800		216
	4	564	82		1000		257
	5	562	78		1000		245
	6	560	74		1000		232
	7	558	70		1000		220
	8	556	66		1250		259
	9	554	62		1250		243
	10	552	58		1250		228
	11	550	54		1250		212
	12	548	50		1600		251
	13	546	46		1600		231
	14	544	42		1600		211
	15	542	38		2000		239
	16	540	34		2000		214

Tab. 4.14 Řezné podmínky při jednotlivých řezech Materiál C – 15 142

destička Kyocera řezná hrna č.	Č. řezu	Řezná délka [mm]	ØD [mm]	Hloubka řezu ap [mm]	otáčky n [min^{-1}]	posuv f [mm]	Řezná rychlost v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]
3	1	580	93	2	800	0,15	234
3	2	578	89		800		224
2	3	576	85		800		214
2	4	574	81		1000		254
4	5	572	77		1000		242
	6	570	73		1000		229
	7	568	69		1250		271
	8	566	65		1250		255
	9	564	61		1600		306

Jak můžeme vidět z předcházející tabulky (tab. 4.14) u materiálu C – 15 142. První 4 řezy jsme prováděli s jinou hranou VBD. To z toho důvodu, že na předcházejících materiálech A a B nedošlo k dostatečnému opotřebení hrany VBD. Tudíž jsme pro úplné dokončení experimentu pokračovali na dalším materiálu, kde jsme už potřebného opotřebení u obou hran (hrany č.2 a hrany č.3) dosáhli během dvou řezů. A dále pokračovali novou hranou č. 4 VBD.

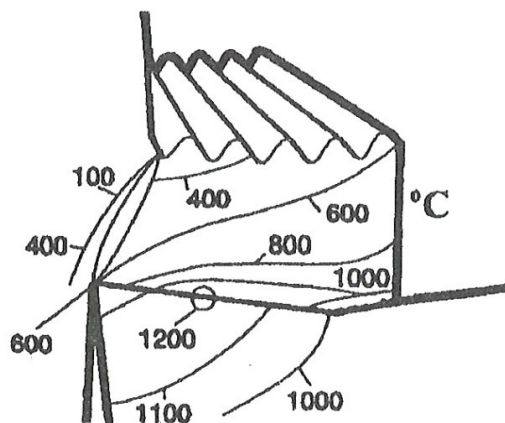
Tab. 4.15 Počet řezů pro dosažení požadovaného opotřebení u jednotlivých hran

Hrana VBD	počet řezů a délka řezu pro dosažení požadovaného opotřebení			
	Materiál A	Materiál B	Materiál C	Celkem
Hrana č. 2	19 - (9 420 mm)		2 - (1 150 mm)	21 – (10 570 mm)
Hrana č. 3		16 - (8 880 mm)	2 - (1 158 mm)	18 – (10 038 mm)
Hrana č. 4			5 - (2 840 mm)	5 - (2 840 mm)

Při porovnání údajů v tabulce (tab. 4.15) můžeme vidět, že pro dosažení potřebného opotřebení hrany č. 2 VBD bylo zapotřebí u materiálu A - 19 řezů a následně dva řezy na materiálu C. Celková délka řezu 10 570 mm. Pro řeznou hranu č. 3 bylo zapotřebí 16 řezů na materiálu B a 2 řezy na materiálu C. Celková délka řezu 10 038 mm. Na materiálu C stačilo pro dosažení požadovaného opotřebení hrany č. 4 pouze 5 řezů. Kdy celková délka řezu byla 2 840 mm. Tyto rozdíly v trvanlivosti jednotlivých hran VBD jsou způsobeny rozdílnými vlastnostmi materiálu. Materiál A má tvrdost 163 HB, materiál B – 235 a materiál C – 250.

4.5.2. Měření teploty

Při měření jsme používali bezkontaktní optické měřidlo Pyrometr AMIR 7838-21. Kterým jsme měřili teplotu VBD v místě řezu. Viz (Obr. 4.3.) Nevýhoda těchto bezkontaktních měřidel je ta, že při obrábění nám vznikají třísky, které překrývají destičku a zabraňují nám měřit teplotu přímo v místě řezu. U všech tří materiálů A, B i C se nám tvořila krátká vinutá tříska, která nám destičku překrývala. Tudiž jsme nemohli měřit teplotu břitu v místě řezu, ale pouze teplotu na povrchu třísky odcházející z místa řezu. Teplota třísky a břitu v místě řezu je značně odlišná viz. (Obr. 4.19.) Měřená teplota je pouze orientační. Bohužel žádná jiná metoda měření teploty nemohla být použita z důvodu speciálního držáku VBD který byl upraven pro měření odporu odporové vrstvy nanesené na řezné destičce viz. Kapitola 4.3.2.







Obr.4.19 Teplotní pole obrobku, třísky a nástroje při obrábění [3]

Jak můžete vidět na (obr. 4.20) podle zbarvení třísky můžeme určit, že teplota při obrábění se přibližně pohybovala okolo 650 °C viz (tab. 4.16) . Přičemž pyrometr nám v tomto řezu zaznamenal maximální hodnotu teploty 277 °C. Podle teorie teplotního pole (Obr 4.19) vyplývá, že teplota na břitu nástroje se mohla pohybovat až na teplotě cca 800°C. Z důvodu překrytí třískou se nám tato hodnota nepodařila naměřit. V našem případě nebylo až tak důležité měřit skutečnou teplotu na břitu, ale zajímal nás hlavně vliv teploty na odporovou vrstvu a pro tyto účely jsou naměřené hodnoty dostačující.



Obr. 4.20 Fotografie třísky z řezu č.5 materiál C

Ohřev oceli		
Teplota (°C)	Barva	
550	tmavě hnědá	
630	hnědočervená	
680	tmavě červená	
740	tmavě třešňově červená	

Obr. 4.21 Barva oceli při ohřevu [15]

4.6. Vyhodnocení měření teploty

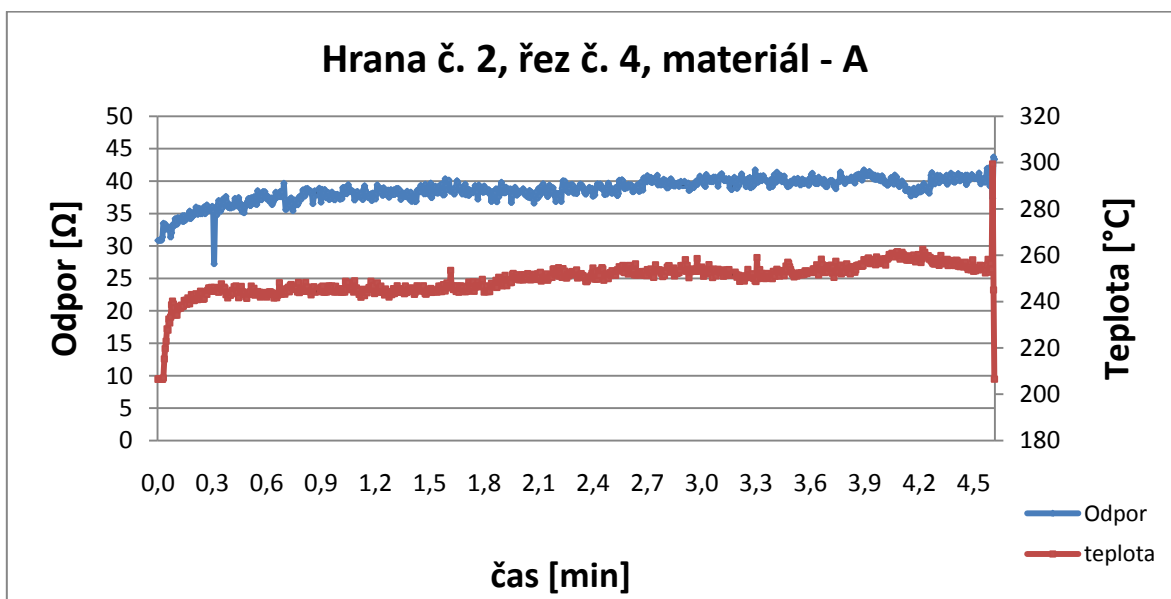
Data, která jsme naměřili pomocí bezkontaktního měřidla pyrometru AMIR a záznamového zařízení datalogeru Almemo jsme uložili ve formátu txt. A dále zpracovávali. U každého řezu (všech tří obráběných materiálů) byl vytvořen graf závislosti teploty a odporu na čas. Z důvodu velkého množství grafů zde rozebereme pouze vybrané. Další budou uloženy jako příloha na CD, které je součástí bakalářské práce.

Jak už je popsáno v kapitole 4.5.2. nevýhoda těchto bezdotykových měřících zařízení je ta, že v případě tvoření dlouhé nebo krátké vinuté třísky dochází k překrytí břitu nástroje třískou. A k znemožnění měření skutečné teploty na břitu nástroje. Naměřené hodnoty jsou pouze orientační a neudávají nám skutečnou teplotu břitu ale pouze teplotu odcházející třísky z místa řezu.

4.6.1. Řezná hrana č. 2 VBD

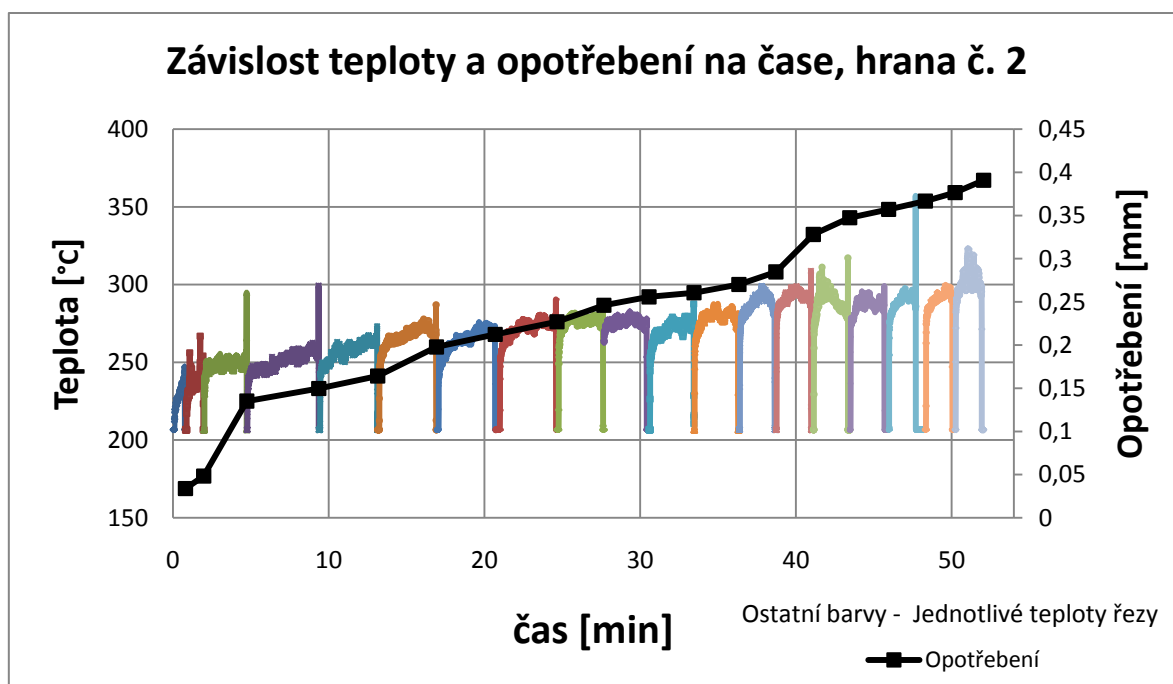
Na Obrázku 4.22 můžeme vidět záznam průběhu teploty a opotřebení na čase při řezu č. 4. Obráběn byl materiál 12 020. Řezné parametry použity při řezu č. 4. $a_p=2$ [mm], $n=800$ [min^{-1}], $\phi D=90$ [mm], $f=0,15$ [mm], délka řezu=566 [mm]. Průběh teploty v grafu znázorňuje červená křivka a průběh el. Odporu nám značí modrá křivka.

Z grafu můžeme vyčíst, že při začátku obrábění došlo ke skokovému zvýšení teploty z 200 °C což je nejnižší hodnota teploty, kterou dokáže pyrometr změřit až na 250 °C. V dalších částech řezu teplota mírně kolísala ± 20 °C. Tyto změny jsou způsobeny postupným zahříváním VBD a také změnami odchodu třísky z místa řezu. Průběh teplot v celém řezu je přibližně konstantní k výrazným skokům dochází pouze při začátku a konci obrábění. Při výjezdu nástroje z řezu nám pyrometr zaznamenal teplotu 300 °C. Toto výrazné navýšení je zapříčiněno přerušením odchodu třísky, která nám v předcházejících fázích řezu zabraňovala měřit teplotu přímo na VBD.



Obr. 4.22 Grafické znázornění naměřených hodnot u řezu č. 4, materiál – A

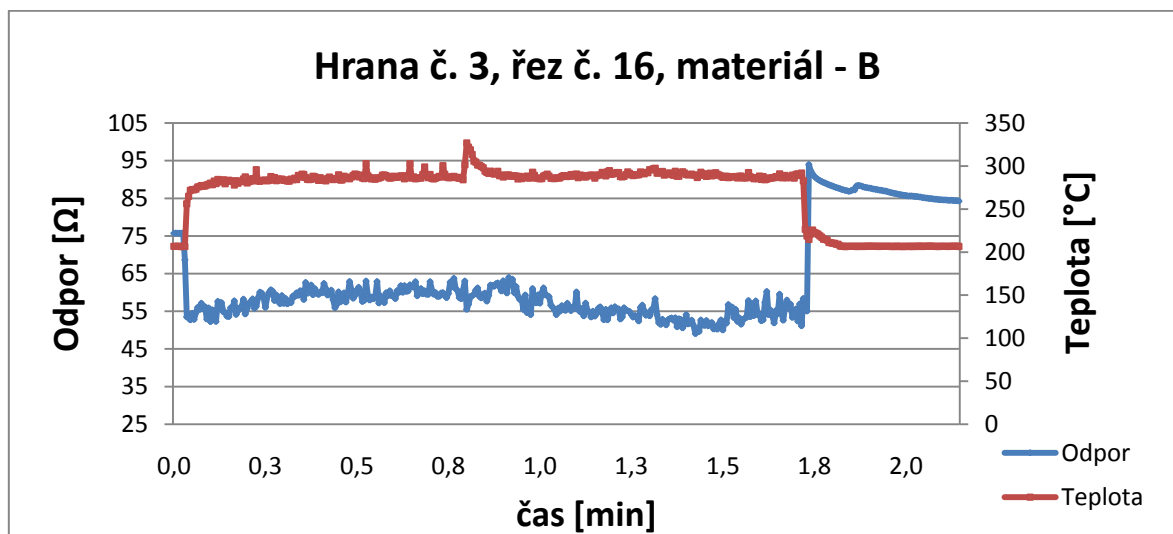
Na obrázku 4.23 můžeme vidět celkový záznam teplot a opotřebení při obrábění hranou č.2 vyměnitelné břitové destičky. Barevně jsou znázorněny teploty u jednotlivých řezů a černou barvou je vyznačené opotřebení v závislosti na čase obrábění. Při porovnání teplot u jednotlivých řezů můžeme vidět, že teplota má mírně vzrůstající tendenci. Rozdíl mezi teplotou prvního a posledního řezu je přibližně 40 °C. Je to způsobeno postupným zvětšováním opotřebení VBD a vynaložením větší práce při řezání, která je následně přeměněna v teplo.



Obr. 4.23 Závislost teploty a opotřebení na čase při obrábění hranou č. 2

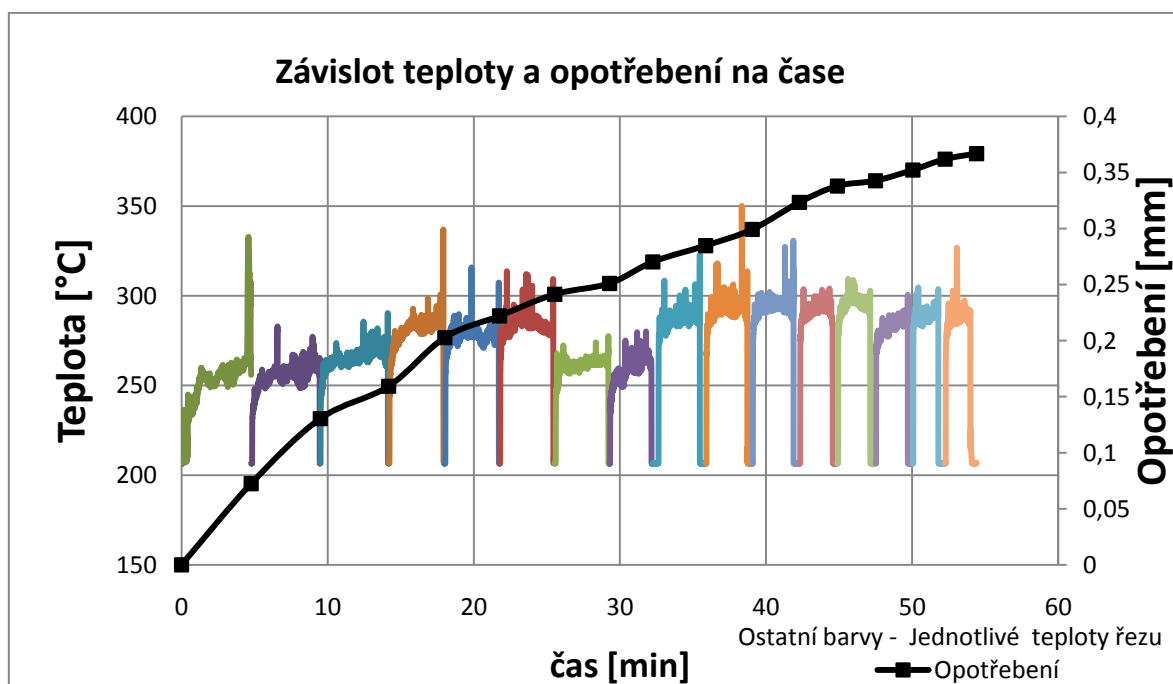
4.6.2. Řezná hrana č. 3 VBD

Na obrázku 4.24 můžeme opět vidět ukázkou grafu průběhu teploty a opotřebení na čase. Při tomto řezu byly použity řezné parametry. $a_p=2$ [mm], $n=2000$ [min^{-1}], $\phi D=34$ [mm], $f=0,15$ [mm], délka řezu=540 [mm]. Obráběný materiál byl 14 220. Z průběhu grafu můžeme opět vyčíst, že při celém řezu došlo pouze ke dvěma větším skokovým změnám a to opět v místě začátku a konce obrábění. Na začátku teplota nejdříve stoupla na hodnotu 270 °C. Kde nadále setrvala na přibližně stejné hodnotě s výjimkou jednoho výkmitu v čase 0,8 minuty, kdy teplota vyskočila na hodnotu 325 °C. Dále se teplota opět ustálila na 280 °C. Při výjezdu z řezu opět skokově klesla na teplotu 200 °C.



Obr. 4.24 Grafické znázornění naměřených hodnot u řezu č. 16, materiál – B

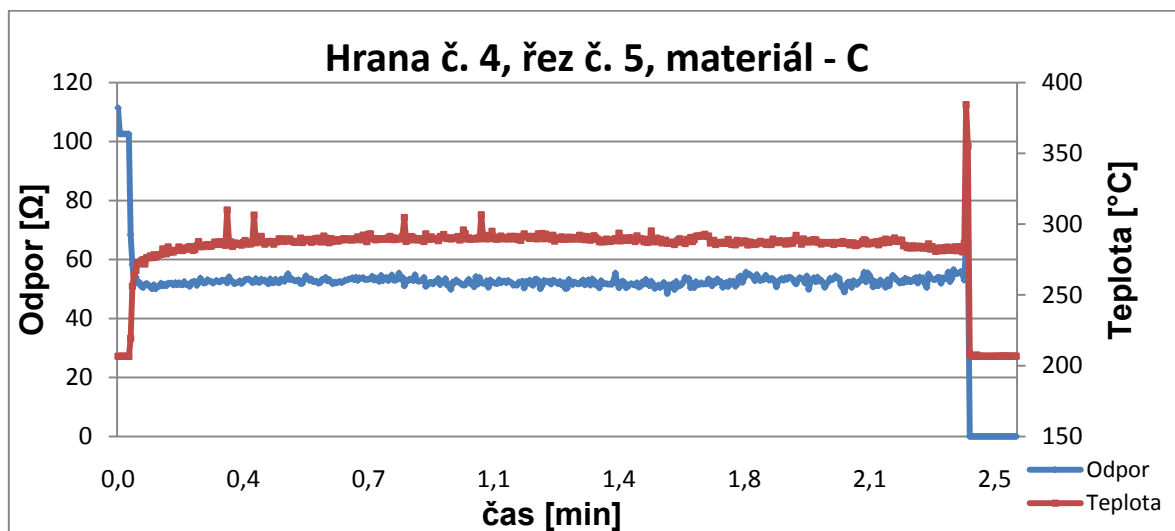
Na obrázku 4.25 můžeme vidět opět celkový záznam teplot a opotřebení při obrábění tentokrát hranou č.3 vyměnitelné břitové destičky. Zde můžeme vidět velmi výrazné snížení teploty mezi časem 25 – 32 min. Je to způsobeno přerušením experimentu na delší dobu, během které došlo k úplnému vychladnutí VBD.



Obr. 4.25 Závislost teploty a opotřebení na čase při obrábění hranou č. 3

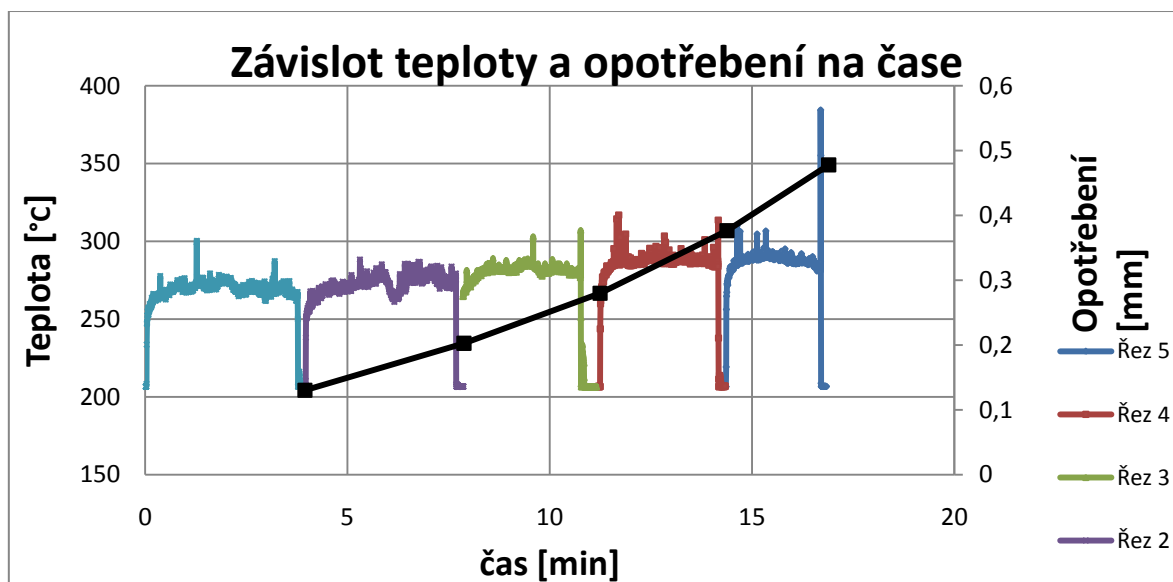
4.6.3. Řezná hrana č. 4 VBD

U materiálu - C (15 142) jsme dosáhli potřebného opotřebení už při pátém řezu (celková délka řezu - 2 840 mm). Opotřebení bylo mnohonásobně rychlejší než u ostatních materiálů, ale k výraznému zvýšení teploty nedošlo. Opět se teplota pohybovala okolo 280°C. (Obr. 4.26) Jediný rozdíl v tomto grafu je výrazný skok při výjezdu z řezu, kdy teplota skokově vyskočila až na teplotu 384 °C. Což je nejvyšší teplota, která se nám v celém experimentu podařila naměřit. Ale stále nám neudává skutečnou teplotu v místě řezu. Destička už měla dostatek času na ochlazení.



Obr 4.26 Grafické znázornění naměřených hodnot u řezu č. 5, materiál – C

Závislost teploty a opotřebení na čase u řezné hrany č. 4 máme znázorněnou na obrázku 4.27. Na tomto obrázku můžeme opět vidět progresivní tendenci teploty v závislosti na čase. Růst teploty je přibližně 20°C . Tento rozdíl je téměř zanedbatelný.



Obr. 4.27 Závislost teploty a opotřebení na čase při obrábění hranou č. 4

5. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo sledování teplot při obrábění inteligentním nástrojem. Inteligentní nástroj je vyměnitelná břitová destička z nitridové keramiky s nanesenou odporovou vrstvou. Tato odporová vrstva slouží k diagnostice řezné hrany při procesu obrábění. Její výhoda je, že můžeme kontrolovat řeznou hranu přímo v řezu, což u jiných metod kontroly není možné. Proto jsme se rozhodli tuto metodu více prozkoumat. Z důvodu velké rozsáhlosti experimentu byla práce rozdělena do tří bakalářských prací a to práci zaměřenou na měření teploty, opotřebení a měření elektrického odporu. Tato práce se zabývá pouze měřením teploty při obrábění. K měření teploty jsme použili bezdotykové měřidlo pyrometr AMIR a záznamové zařízení dataloger ALMEMO. Z důvodu speciálního držáku nástroje, který byl upraven pro měření el. odporu nanesené odporové vrstvy, nebylo možné použít jinou metodu měření teploty. Pro náš experiment jsme vybrali tři různé materiály a to materiál 12 020, 14 220 a materiál 15 142. Na každém z těchto materiálů jsme se snažili dosáhnout požadovaného opotřebení VBD. Hloubka řezu a posuv na otáčku byly v celém experimentu konstantní. $a=2\text{mm}$ $f=0,15\text{mm}$. Volba řezné rychlosti byla velmi omezena parametry zvoleného stroje (max. $n=2000 [\text{min}^{-1}]$). Abychom dosahovali přibližně stejných parametrů řezné rychlosti při všech řezech, volili jsme řeznou rychlost přibližně $v_c = 240 \pm 30 [\text{m} * \text{min}^{-1}]$. Měření teploty pomocí bezdotykových měřidel má jednu nevýhodu. V místě řezu se nám tvoří tříska, která odchází po čele nástroje a překrývá nám řeznou hranu. Naměřené hodnoty jsou teploty povrchu odcházející třísky a nikoli teploty řezné hrany, kterou jsme potřebovali. Řezná hrana má teplotu mnohonásobně vyšší. Proto naměřené hodnoty jsou pouze orientační. Při obrábění materiálu 12020 hranou č. 2 VBD se nám z důvodu nedostatku materiálu nepodařilo během 19 řezů (9 420mm) dosáhnout požadovaného opotřebení proto jsme dále pokračovali na materiálu 15 142 kde k dosažení požadovaného opotřebení na hraně č.2 stačily 2 řezy (1150mm). Dále jsme pokračovali materiálem 14220, který jsme obráběli hranou č. 3 VBD. Na tomto materiálu jsme provedli 16 řezů (8880 mm), ale opět se nám nepodařilo dosáhnout požadovaného opotřebení. Proto jsme pokračovali na materiálu 15142 kde k dosažení požadovaného opotřebení stačily 2 řezy (1158 mm). Poslední materiál 15142 jsme obráběli hranou č. 4 VBD. U tohoto materiálu jsme dosáhli požadovaného opotřebení již při řezu č. 5. Teploty při celém experimentu se pohybovaly přibližně okolo 280°C . U žádného řezu nedošlo k nějakým velkým výkyvům teploty. Vždy docházelo ke skokovým změnám pouze při začátku a konci obrábění. Vliv teploty na odporovou vrstvu během obrábění se nepotvrdil.

Použitá literatura:

- [1] BRYCHTA, Josef, et al. *Technologie II. : 1. díl*. 1. vydání. Ostrava : VŠB-TUO, 2007. 126 s. ISBN 978-80-248-641-8.
- [2] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha : MM publishing, s.r.o., 2008. 235 s.
- [3] KOCMAN, Karel; PROKOP, Jaroslav. *Technologie obrábění*. 2. vydání. Brno : Akademické nakladatelství CERM Brno s.r.o., 2005. 270 s.
- [4] PŘIKRYL, Z.; MUSÍLKOVÁ, R. *Teorie obrábění*. 3. opravené vydání. Praha : SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1982. 235 s.
- [5] *Www.ahlborn.com* [online]. 2008 [cit. 2011-05-07]. AMIR INFRARED MEASURING TECHNOLOGY. Dostupné z WWW: <<http://www.ahlborn.com/getfile.php?1120.pdf>>.
- [6] *Www.odbornecasopisy.cz* [online]. 2006 [cit. 2011-05-07]. Nová termovizní kamera InfraCAM . Dostupné z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26698>.
- [7] *Www.sgac-turnov.cz* [online]. 2004 [cit. 2011-05-07]. Břítové destičky z řezné keramiky . Dostupné z WWW: <<http://www.sgac-turnov.cz/index.php?content=210>> (=cs >.
- [8] *Www.maurer-ir.de* [online]. 2011 [cit. 2011-05-08]. Pyrometer Series KTR 2000. Dostupné z WWW: <<http://www.maurer-ir.de/index.php/en/universal-pyrometer.html>>.
- [9] *Utp.fs.cvut.cz* [online]. 2006 [cit. 2011-05-09]. Bezdotykové měření teploty. Dostupné z WWW: <<http://utp.fs.cvut.cz/vz/clanky/104.pdf>>.
- [10] FIALOVÁ, Kateřina . *ŘEZNÁ KERAMIKA A JEJÍ EFEKTIVNÍ VYUŽITÍ* [online]. Brno, 2008. 62 s. Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Dostupné z WWW: <http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=6685>.

- [11] *Www.americas.kyocera.com* [online]. 2009 [cit. 2011-05-09]. Ceramics. Dostupné z WWW: <http://americas.kyocera.com/kicc/pdf/ceramics_brochure.pdf>.
- [12] KRATOCHVÍL, Jiří. *Metodika sledování opotřebení keramických nástrojů pomocí odporových vrstev během řezu*. Ostrava, 2010. 118 s. Dizertační práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava.
- [13] *Www.ferona.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-05-09]. Materiálové normy. Dostupné z WWW: <http://www.ferona.cz/cze/katalog/mat_normy.php>.
- [14] HLUCHÝ, M. a kol. *Strojírenská technologie*. První vydání., SNTL Praha 1979. 176s
- [15] VÁVRA, P.; LEINVEBER, J. *Strojnické tabulky : pro SOU*. Praha : SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1984. 384 s.

Seznam příloh (CD):

Příloha č. 1 - VBD řezná hrana č.2 (naměřené hodnoty, grafy)

Příloha č. 2 - VBD řezná hrana č.3 (naměřené hodnoty, grafy)

Příloha č. 3 - VBD řezná hrana č.4 (naměřené hodnoty, grafy)